

引用格式:吴健,陆书文,芮大庆,等.基于背景抑制的改进 Top-Hat 红外小目标检测方法[J].电光与控制,2018,25(9):42-44. WU J, LU S W, RUI D Q, et al. An improved Top-Hat infrared small target detection method based on background suppression[J]. Electronics Optics & Control, 2018, 25(9):42-44.

基于背景抑制的改进 Top-Hat 红外小目标检测方法

吴健¹, 陆书文², 芮大庆³, 缪欣³, 张俊举¹

(1. 南京理工大学电子工程与光电技术学院, 南京 210094; 2. 中国科学技术大学自动化系, 合肥 230027;
3. 江苏曙光光电有限公司, 江苏 扬州 225009)

摘要: 针对红外小目标在背景较为复杂时边缘模糊不易被检测、虚警率高等问题,提出了一种基于 SUSAN 背景抑制的改进 Top-Hat 的检测方法。该方法先将原图像做 SUSAN 背景抑制,再对抑制后图像做开运算,最后将开运算结果与原图像做比较并分别赋值得到结果图像。为了验证改进 Top-Hat 方法的优越性,在图像做完背景抑制后分别做传统 Top-Hat 处理与改进后的 Top-Hat 处理,并对其结果进行了对比。结果表明,所提算法能够大大提高复杂背景下红外小目标的检测概率,有效地减少伪目标数量,即降低了虚警率。

关键词: 红外探测; 复杂背景; 小目标检测; SUSAN 背景抑制; Top-Hat

中图分类号: TN215 文献标志码: A doi:10.3969/j.issn.1671-637X.2018.09.009

An Improved Top-Hat Infrared Small Target Detection Method Based on Background Suppression

WU Jian¹, LU Shu-wen², RUI Da-qing³, MIAO Xin³, ZHANG Jun-ju¹

(1. Electronic Engineering and Opto-Electronic Engineering Institute, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China; 2. Department of Automation, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China;
3. Jiangsu Shuguang Opto-Electronics Co., Ltd., Yangzhou 225009, China)

Abstract: The infrared small targets in complex background are not easy to detect due to their fuzzy edges, and the false alarm rate is high. To solve the problems, an improved Top-Hat target detection method based on SUSAN background suppression is proposed. In this method, the background of the original image is suppressed by using SUSAN method, and then an opening operation is made to the suppressed image. Finally, the result of the opening operation is compared with the original image, and the result images are obtained by assigning values to them respectively. In order to verify the superiority of the improved Top-Hat method, the image after background suppression is processed respectively by using the traditional Top-Hat method and the improved Top-Hat method. The comparison results show that, the proposed algorithm can greatly improve the detection probability of infrared small targets in complex background, and effectively reduce the number of false targets, i. e., the false alarm rate.

Key words: infrared detection; complex background; small target detection; SUSAN background suppression; Top-Hat

0 引言

在复杂背景下,红外相机远距离拍摄到的目标图像往往都会受到背景杂波以及环境中其他干扰物的影响,如水面上漂浮的杂物、反射的杂波以及天空中的云

朵、杂散光等,这些因素会使图像中的小目标与背景对比度降低且边缘也会变得更模糊,严重干扰弱小目标的检测与识别,造成虚警现象^[1-5],因此,抑制背景的干扰对复杂背景中红外弱小目标的检测具有重要意义。

本文提出一种基于 SUSAN 背景抑制的改进 Top-Hat 单帧红外弱小目标检测方法,该方法首先采用最小吸收同值核区 (Smallest Univalued Segment Assimilating Nucleus, SUSAN) 原则^[6],依据图像同一区域内特征基本相似而不同区域之间特征差异较大的特点,通

收稿日期:2017-10-13

修回日期:2018-07-02

作者简介:吴健(1992—),男,安徽铜陵人,硕士生,研究方向为图像处理。

过对每个像素周围特征相近像素数目的统计来实现对不同区域的划分,然后用改进的 Top-Hat 变换处理得到 SUSAN 图像,进一步抑制图像中的背景噪声干扰,检测出真实的红外弱小目标。

1 SUSAN 检测原理

SUSAN 检测是用一个近似圆形的模板去遍历整幅图像,如图 1 所示。

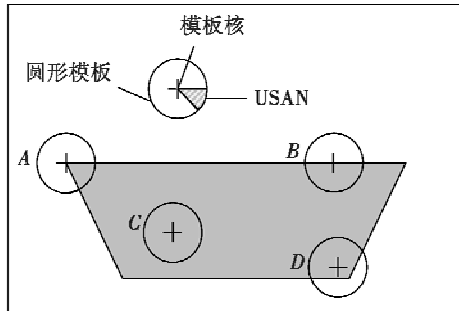


图 1 SUSAN 检测原理

Fig. 1 SUSAN detection principle

模板的中心点称为核点,判断图像处于模板内部的像素点灰度值与处于核点的像素点灰度值的差是否小于某个给定的阈值,若小于该阈值,则认为该像素点与模板的核点处的像素点具有相同特征,把符合相同特征的像素点组成的区域称作核同值区 (USAN)。由图 1 可以看出:当模板全部处于某个目标区域的内部时,如位置 C 所示,USAN 区域的面积达到最大;当模板向区域的边缘移动时,如位置 B 和 D 所示,USAN 区域的面积逐渐减小;当模板的核处于目标区域的角点时,如位置 A 所示,USAN 区域的面积达到最小。

一般用完全处于圆形模板内的几个像素点组成的集合作为扫描模板,如图 2 所示。

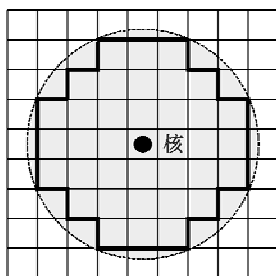


图 2 SUSAN 模板

Fig. 2 SUSAN template

本文取的是 $\{i_0 - 3 \leq i \leq i_0 + 3, j_0 - 3 \leq j \leq j_0 + 3\}$ 区域内的近圆模板,判断图像中某像素点是否属于模板核的 USAN 区域,即

$$C(r_0, r) = \begin{cases} 1 & |I(r) - I(r_0)| \leq t \\ 0 & |I(r) - I(r_0)| > t \end{cases} \quad (1)$$

式中: r_0 为模板中心核所处的像素点; r 为模板中除核以外的其他像素点; $I(r_0)$ 为核像素点的灰度值; $I(r)$ 为图像在 r 处的灰度值; t 为判别阈值,表示对背景的抑制强度,其大小决定提取的特征量的多少,取值越大,提取的特征量也就越多,一般在 6 ~ 20 之间取值; $C(r_0, r)$ 为 USAN 区域的判别函数。

对模板内的每个像素点进行 USAN 判别之后,对 $C(r_0, r)$ 进行累加求和,则该点的 USAN 区域的面积 $n(r_0)$ 可以表示为

$$n(r_0) = \sum_r C(r_0, r) \quad (2)$$

对整幅图像进行如上扫描,计算得到每个点的 USAN 区域面积,再将其与预先取定的阈值 g 比较,得到 USAN 特征图像,即

$$R(r_0) = \begin{cases} g - n(r_0) & n(r_0) \leq g \\ 0 & n(r_0) > g \end{cases} \quad (3)$$

2 改进的 Top-Hat 变换

膨胀和腐蚀是图像数学形态学处理常用的两种基本运算,设 $f(i, j)$ 为初始的灰度图像, $b(x, y)$ 为设定的结构元素,用结构元素 b 对原始图像 f 进行灰度膨胀操作,记为 $f \oplus b$,定义为

$$(f \oplus b)(i, j) = \max \{ f(i - x, j - y) + b(x, y) \mid (i - x, j - y) \in D_f; (x, y) \in D_b \} \quad (4)$$

式中, D_f, D_b 分别为 $f(i, j), b(x, y)$ 的定义域。类似地,腐蚀操作可以记为 $f \ominus b$,其定义为

$$(f \ominus b)(i, j) = \min \{ f(i - x, j - y) - b(x, y) \mid (i - x, j - y) \in D_f; (x, y) \in D_b \} \quad (5)$$

膨胀(腐蚀)运算可以看成局部最大(小)值滤波操作,会使整个图像的灰度增大(减小),且这种变化在图像各个区域的边缘处较为明显,可以用来提取图像的边缘信息。

在此基础上衍生出图像的开运算 $f \circ b$ 和闭运算 $f \bullet b$,其定义分别为

$$f \circ b = (f \ominus b) \oplus b \quad (6)$$

$$f \bullet b = (f \oplus b) \ominus b \quad (7)$$

开运算就是先用结构元素 b 对原始图像 f 进行灰度腐蚀操作,再对得到的结果进行膨胀操作;闭运算就是对图像进行先膨胀后腐蚀的操作。开、闭运算继承了膨胀、腐蚀操作在图像区域边缘处影响明显的特点,因此也可以用来提取图像的边缘信息。

用原始图像减去其开运算的结果,这种操作称为顶帽 (Top-Hat) 变换^[7], Top-Hat 变换可以得到图像中一些区域边缘的点,可以用于在较暗的背景中寻找亮点,定义为

$$G = f - (f \circ b) \quad (8)$$

在传统的 Top-Hat 变换中,往往不能将图像中较亮的小块区域滤除掉,这样就无法剔除图像中的亮点噪声,这对复杂背景下小目标的检测很不利,容易造成虚警现象。因此对传统的 Top-Hat 变换改进为^[8]

$$G = \begin{cases} (f \circ b)(i, j) - f(i, j) & f(i, j) \leq (f \circ b)(i, j) \\ (f \circ b)(i, j) & f(i, j) > (f \circ b)(i, j) \end{cases} \quad (9)$$

将原图像与开运算后的结果做比较,如果原图像某像素点的灰度值小于开运算后的灰度值,则将二者的差值作为该点的灰度值;反之则将开运算后的结果作为该点的灰度值,这样就可以将原图像中区域面积很小的区域边缘显示出来,也能够一定程度上滤除背景杂波的影响,有利于在复杂背景中凸显出微小的目标。

3 实验结果与分析

为了验证所提方法的可行性,在 Matlab2009b 上进行了 2 组仿真实验,先对 2 组图片进行 SUSAN 背景抑制,阈值 $t = 11$, $g = n_{\max}/4$, n_{\max} 是 USAN 区域的面积 $n(r_0)$ 能达到的最大值,再对处理结果分别做传统的 Top-Hat 处理以及改进后的 Top-Hat 处理,使用的结构元素 b 为

$$b = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 7 & 8 & 9 \end{bmatrix}.$$

图 3a 是红外相机拍摄的天空中的目标图像,处理后得到如图 3b ~ 图 3d 所示结果。

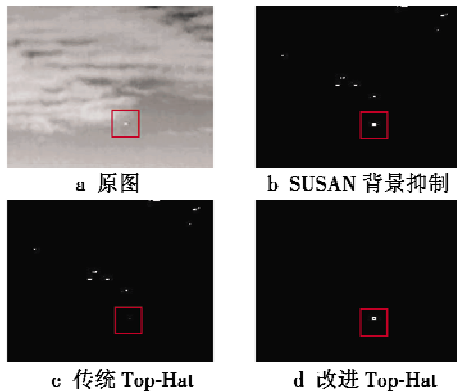


图 3 天空目标图像实验结果

Fig. 3 The result of target image in the sky

图 4a 是红外相机拍摄的海面上的目标图像,处理后得到如图 4b ~ 图 4d 所示结果。

图像中目标位置均由红色方框标出,由实验结果图可以看出,在进行 SUSAN 背景抑制后,能够去掉图像中大部分的背景噪声,但是仍存在一部分比较亮的背景噪声无法剔除,影响小目标的检测;运用传统的 Top-Hat 变换方法并不能有效地剔除这些比较亮的背

景噪声,无法达到精准检测复杂背景下红外小目标的目的;而改进后的 Top-Hat 变换方法能够更好地剔除图像中的亮点噪声,检测到复杂背景下的弱小目标。

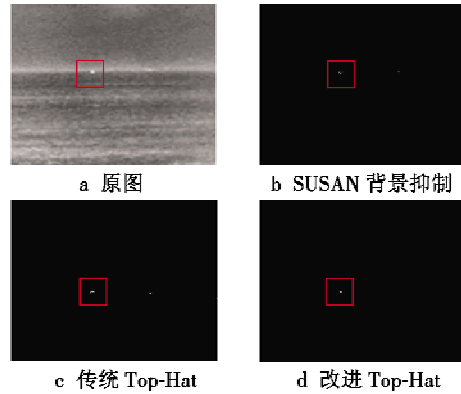


图 4 海面目标图像实验结果

Fig. 4 The result of target image on the sea surface

4 结论

为了解决复杂背景下红外小目标边缘易模糊不易被检测的问题,提出了一种基于 SUSAN 背景抑制的改进 Top-Hat 的小目标检测方法。首先对图像进行 SUSAN 背景抑制,再将背景抑制后图像做改进的 Top-Hat 变换得到结果图像。实验结果表明,本文方法能够抑制背景噪声的干扰,精准地检测复杂背景下的弱小目标,有效地减少伪目标数量,即降低虚警率。

参考文献

- [1] 李大伟. 复杂背景红外弱小目标检测[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
- [2] 王法栋, 高鑫伟, 马冬冬. 一种基于小波包变换的海面慢速小目标检测方法[J]. 舰船电子对抗, 2012, 35(4): 52-54.
- [3] 刘杰, 安博文. 海面红外小目标检测算法研究[J]. 红外技术, 2015, 37(1): 16-19.
- [4] 罗蛟. 杂波条件下的红外海面小目标检测与跟踪方法研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2009.
- [5] 杨丽娇. 海空背景下的红外小目标检测算法研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2016.
- [6] 袁慧晶, 王涌天. 一种抗干扰的弱小目标检测方法[J]. 光子学报, 2004, 33(5): 609-612.
- [7] 赵玉航. 基于改进形态学 Top-Hat 算子的图像边缘检测[J]. 电脑编程技巧与维护, 2016(3): 81-83.
- [8] 张宁, 辛云宏. 基于小波变换和改进 Top-Hat 滤波的红外小目标检测[J]. 激光与红外, 2016, 46(11): 1431-1436.